

## دراسة حالة لتقييم أداء مبنيين قائمين واقعين في الساحل السوري على الزلازل باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي (pushover)

الدكتور نايل حسن\*  
الدكتور عصام ناصر\*\*  
رلى زهير طه\*\*\*

(تاريخ الإيداع 19 / 11 / 2012. قُبِلَ للنشر في 12 / 3 / 2013)

### ▽ ملخص ▽

تهدف هذه المقالة إلى تقييم مبنيين قائمين متعددي الطوابق في الساحل السوري على الزلازل باستخدام التحليل الستاتيكي اللاخطي لنماذج ثلاثية الأبعاد باستخدام برنامج ال ETABS. تم في هذه المقالة دراسة مبنيين الأول (مبنى A) يتألف من ثمانية طوابق وقبو، جملته الإنشائية الحاملة عبارة عن إطارات بيتونية مسلحة مع نواة بيتونية حول المصعد والمبنى الثاني (مبنى B) يتألف أيضاً من ثمانية طوابق وقبو لكن جملته الإنشائية مختلطة من جدران قص بالاتجاهين و إطارات بيتونية مسلحة، حيث تطبق في هذه المقالة إجراءات التحليل الستاتيكية اللاخطية (تحليل PUSHOVER) في تقييم الأداء المتوقع لجملهما الإنشائية على الزلازل من خلال تقدير مقاومة هذه الجمل وتحديد الطلب الزلزالي الذي تتعرض له ومقارنة هذا الطلب مع الاستطاعة المتوفرة عند مستوى الأداء المدروس، إذ أظهر التحليل أن نسب التسليح لمعظم العناصر الإنشائية (جيزان-أعمدة) أقل من النسب المسموحة للتسليح على الزلازل وفق الكود المعتمد الأمر الذي يشكل نقطة ضعف لهذا النوع من المباني والتي أنشئت في الفترة الزمنية نفسها، كما تبين أن السلوك المحتمل للمبنيين الإطاري والمختلط الناتج عن التقاطع بين منحنى الطلب الزلزالي والاستطاعة غير قادر على تحمل الخطر الزلزالي المدروس حيث إن الطلب الزلزالي يفوق الاستطاعة المحتملة للمبنيين المدروسين ويجب إعادة التأهيل واقتراح الحلول التدميمية المناسبة.

**الكلمات المفتاحية:** التحليل الستاتيكي اللاخطي، تحليل PUSHOVER، تقييم المنشآت القائمة، التحليل المعتمد على الأداء.

\* أستاذ مساعد - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

\*\* أستاذ - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

\*\*\* طالبة دراسات عليا (ماجستير) - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## A Case Study to Evaluate Performance of Two Existing Buildings Located at Syrian Coast to Seismic effect By Using Nonlinear Static Analysis (Pushover)

Dr. Naeel Hasan<sup>\*</sup>  
Dr. Issam Nasser<sup>\*\*</sup>  
Roula Zohair Taha<sup>\*\*\*</sup>

(Received 19 / 11 / 2012. Accepted 12 / 3 / 2013)

### ▽ ABSTRACT ▽

This paper aims to evaluate two multistoried buildings located in the Syrian coast by applying nonlinear static procedure on three dimensional models using ETABS software. Both the cases are studied in this paper, the first one is building (A) which consists of eight floors and basement, its structural system is reinforced with concrete frames with RC core: the second case is building(B)which consists of eight floors and basement and the structural system consists of reinforced concrete frames and walls. The nonlinear static analysis is applied to evaluate the predicted performance of structural systems by estimating the system strength, and determine the required seismic demand, then compare the capacity with the demand at the performance level. The analysis showed that the reinforcement ratio for most structural members(beams, columns)is lower than the acceptable ratio according to the applied code, which formed a weak point for this type of building constructed at the same time, also the predicted performance for both buildings which was obtained from comparison the capacity curve with demand curve referred that seismic demand exceed the capacity for both studied buildings, so rehabilitation process must be applied and must suggest suitable retrofit method.

**Key words:** nonlinear static analysis, pushover analysis, evaluation, based-performance analysis.

---

<sup>\*</sup> Associate Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

<sup>\*\*</sup> Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

<sup>\*\*\*</sup> Postgraduate Student, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**مقدمة:**

إن مسألة تقييم المنشآت القائمة على الزلازل في الوقت الراهن مسألة ملحة من وجهة النظر الاجتماعية والعلمية، حيث إن الهدف الأساسي من تصميم المنشآت والمباني على الزلازل كان ولا يزال هو المحافظة على أمان الناس خلال الهزات الشديدة المحتملة الحدوث في مواقع البناء وبالتالي عدم حدوث انهيارات كبيرة وخسائر في الأرواح وهذا يتوقف على مستوى الأداء المطلوب للمنشأ ونوع المنشأ [1-2].

ومع تطور العلوم الهندسية وتوفر الكودات العالمية وكذلك توفر البرامج الحاسوبية التي تمكن من محاكاة السلوك الإنشائي لهذه المباني أصبح بإمكان المجتمع الهندسي القيام بعملية التقييم لهذه الأنواع من المباني وفق خطوات واضحة [3].

يعدّ المبنى المدروس نموذجاً للأبنية التي أنشئت في سبعينات وثمانينات القرن الماضي (وهي الفترة الرئيسية قيد الدراسة) في الساحل السوري إضافة للمدن السورية الكبرى التي تقع في منطقة زلزالية ذات شدة عالية تبعاً للخارطة الزلزالية للجمهورية العربية السورية حيث إن معظم الأبنية فيها هي أبنية متعددة الطوابق صممت وفق الخبرات والمعارف السائدة في تلك المرحلة أي قبل صدور الكود العربي السوري (1995) وملحق الزلازل (2005) بالإضافة إلى أنها بالاستثمار لمدة ليست بقصيرة الأمد.

ولعل أهم المخاطر التي تهدد المنشآت والمباني القائمة هي:

- الجهل: الناتج عن المعرفة غير الكافية لمخاطر الزلازل.  
- التصميم الخاطئ: الناجم عن عدم فهم السلوك الزلزالي للمنشأ وعدم القدرة على توقع نمط استجابة النموذج الإنشائي للحركة الزلزالية.

- استخدام مواد إنشاء لا تحقق المواصفات المطلوبة، وعدم التقيد بالتنفيذ ضمن حدود الأمان.

- محدودية الإنفاق من قبل المالك حيث إن الميزانية المرصودة تؤثر على نوعية البناء والتنفيذ [4].

تتم صعوبة عملية تقييم الأداء الزلزالي للمنشآت بعدم القدرة على المعرفة الدقيقة لخصائص المواد للعناصر واستطاعة المنشأ ومحدودية الدقة في نمذجة السلوك الإنشائي.

اعتمد منذ منتصف التسعينات على مفهوم التقييم المعتمد على الأداء (Based-Performance) لتقييم المنشآت القائمة على الزلازل وهو ما أوصت به الكودات العالمية والمراجع المختصة بالتقييم الزلزالي مثل ATC40 (2000), FEMA356 (1997), FEMA273 (1996).

يستخدم التحليل الستاتيكي اللاخطي بشكل خاص لتقييم الأداء الزلزالي لمنشآت قائمة ولتعديل خصائص الأداء لمكونات الجملة الإنشائية حيث يعدّ تحليل PUSHOVER الطريقة المفضلة لتقييم الأداء الزلزالي للمنشآت من قبل الكودات الأساسية لإعادة التأهيل لأنه بسيط من حيث المفهوم ومن حيث الحساب .

**أهمية البحث وأهدافه:**

تعدّ محاولة محاكاة أداء المبنى القائم على خطر زلزالي مفترض ضرورة لتجنب الانهيار الشامل أو الجزئي بما يحفظ السلامة ويخفف من الأضرار في العناصر الإنشائية وغير الإنشائية أثناء وبعد الزلازل.

يهدف البحث إلى تقييم واقع الجملة الإنشائية لبعض الأبنية القائمة في الساحل السوري من خلال مبنين أحدهما جملة الإنشائية إطارية والثاني مختلطة من حيث مقاومتها للحمولات التصميمية بما فيها الزلازل من خلال

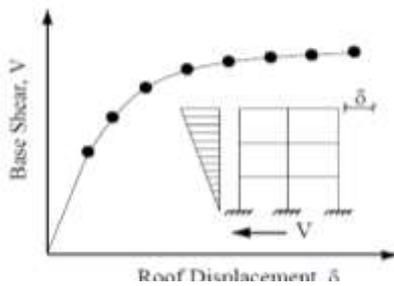
توقع السلوك الحاصل لهذين النموذجين عند تعرضهما للخطر الزلزالي وتوظيف إجراءات التحليل الستاتيكي اللاخطي لتوقع الأداء الموافق.

## طرائق البحث ومواده:

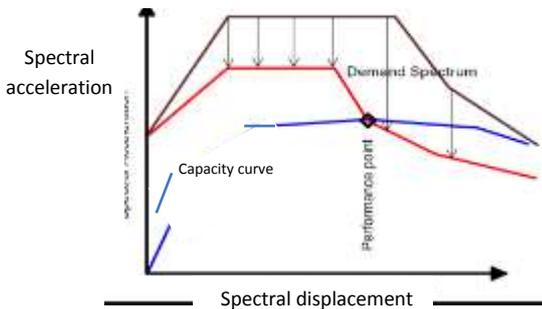
تم في هذا البحث الإعتماد على المنهج الوصفي التحليلي حيث تم استخدام المنهج الوصفي في التعرف على التحليل المعتمد على الأداء وتحليل pushover الموظف في عملية التقييم، واستخدم المنهج التحليلي في دراسة مبنيين قائمين في الساحل السوري كمثال عن المباني التي تحتاج لعملية إعادة تقييم على الزلازل.

### التحليل الستاتيكي اللاخطي (تحليل PUSHOVER):

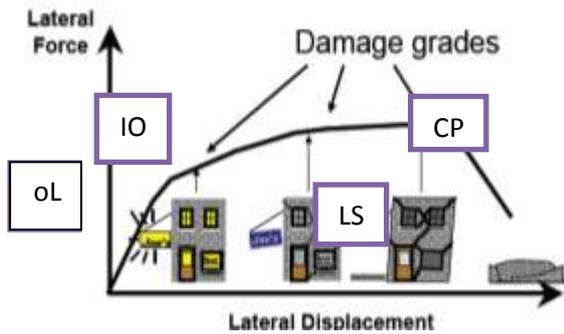
#### 1- التحليل المبني على الأداء:



الشكل (1) يظهر منحنى طيف الاستطاعة



الشكل (2) يظهر منحنى الاداء



الشكل (3) يظهر تدرج الضرر في المنشآت كتابع للانتقال الجانبي والقوى الجانبية

إن الهدف من التقييم الزلزالي للمباني هو تحديد الكيفية التي سيستجيب بها المنشأ للزلازل التصميمي والذي يمثل من خلال الطيف التصميمي. بمعنى آخر، الهدف هو إيجاد نقاط الضعف وتحديد مواقعها ومعرفة كيف ستؤثر في الجملة الإنشائية وبالتالي تقييم مواقعها وتأثيرها في استقرار الجملة الإنشائية.

ولمعرفة هذه الكيفية لابد من تحديد المفهومين الرئيسيين اللذين يقوم عليهما التحليل المعتمد على الأداء وهما الطلب والاستطاعة حيث يمثل الطلب الحركة الأرضية للزلازل أما الاستطاعة فهي قدرة مقاومة المنشأ للطلب الزلزالي حيث يجب أن يملك المنشأ الاستطاعة (القدرة) على مقاومة الطلب الزلزالي حيث يكون أدائه متوافقاً (متاغماً) مع هدف التصميم.

تقدم هذه الطريقة تمثيل تخطيطي لمنحنى الاستطاعة

(قوة-انتقال) للمنشأ (الشكل 1) ويتم مقارنته مع طيف الاستجابة الممثل للطلب الزلزالي (ATC40).

إن إجراءات التحليل الستاتيكية اللاخطية تتطلب تقاطع مفاهيم عنصرين رئيسيين كما يظهر في الشكل (2) هما [4-5]:

• منحنى الاستطاعة للمنشأ الذي يعتمد على مقاومات واستطاعات التشوه للعناصر المستقلة للمنشأ ويتم الحصول عليه من تحليل PUSHOVER.

• تحديد الطلب الزلزالي للانتقال من خلال طيف الطلب الزلزالي المخفض حيث يعبر عن الطلب الزلزالي للمنشأ عادةً بطيف تصميمي تبعاً للكود الزلزالي المستخدم، حيث إن الحركات الأرضية أثناء الزلازل تؤدي إلى أنماط انتقال معقدة والتي يمكن تحديدها تبعاً للمتحولات الإنشائية (شكل الجملة، متحولات تتعلق بتحويل الاستجابة من جملة متعددة درجات الحرية إلى جملة وحيدة درجة الحرية) وتلك المتعلقة بالمنطقة الزلزالية وبالسلوك الزلزالي للمنشأ. وينتج عن تقاطع منحنى الطلب والاستطاعة تحديد نقطة الأداء (الشكل 2) وبالتالي التحقق فيما إذا كانت الأضرار التي تتعرض لها العناصر الإنشائية وغير الإنشائية لا تتجاوز المستوى المسموح به عند مستوى الأداء المدروس.

تقسم مستويات الأداء حسب FEMA إلى أربعة مستويات (الشكل 3) هي:

1-Operational level (OL): تكون مستويات الضرر في المنشآت الخفيفة جداً حيث تكون الانتقالات مؤقتة.

2-Immediate Occupancy (IO): يتوقع أن تعمل المنشآت بشكل مقبول ولكن ليس من الضروري أن تكون قادرة على تأدية الخدمات كلها حيث من الممكن أن تتضرر المحتويات.

3-Life Safety (LS): يرافق هذا المستوى حالة من الضرر مع احتمالية منخفضة جداً لتهديد سلامة الحياة.

4-Collapse Prevention (CP): يحدث في هذا المستوى أضرار كبيرة في المنشأ بالإضافة إلى إمكانية انهيار بعض القواطع ويصبح المنشأ غير قادر على تأدية وظائفه.

## 2- مفهوم التحليل الستاتيكي اللاخطي:

يعتمد التقييم من خلال تطبيق التحليل الستاتيكي اللاخطي بشكل أساسي على استراتيجيات التصميم بالاعتماد على الأداء حيث يتم التعبير عن الأداء من خلال توقع الضرر الناتج عن مستوى الخطر الزلزالي المدروس، وقد استخدمت هذه الطريقة بشكل واسع من قبل المهندسين منذ أواخر التسعينات [1]. يستخدم التحليل الستاتيكي اللاخطي للحصول على خصائص الاستجابة الإنشائية الأولية وذلك من خلال توقع الطلب الزلزالي الموضوعي والعام [6].

إن تحليل (PUSHOVER) هو إجراء ستاتيكي لا خطي تتزايد فيه شدة التحميل بشكل مطرد وفقاً لأنماط تحميل محددة مسبقاً تحت تأثير الحمولات الشاقولية (Gravity Load) والحمولات الجانبية كما يعدّ طريقة لتقييم المقاومة الحقيقية للمنشأ حيث يستعمل الاستجابة اللامرنة للمواد وينسبها للانتقال المستهدف [7]. لا يوجد أساس نظري واضح لتحليل ال Pushover ولكنه يعتمد بشكل أساسي على افتراض أن استجابة المنشأ يمكن أن ترد إلى استجابة جملة ذات درجة حرية (SDOF) وعلى أنه يتم التحكم بالاستجابة من خلال النمط الأول وأن شكل هذا النمط يبقى ثابتاً خلال استجابة السجلات الزمنية (Time History Response) [8].

لقد أشارت العديد من الدراسات التي نفذت من قبل عدة باحثين ( Saiidi and Sozen,1981,Fajfar ) إلى أن هذه الافتراضات تقود إلى توقع جيد للاستجابة الزلزالية الأعظمية لجملة ذات درجات حرية متعددة (MDOF) كما أثبتت أنه يتم التحكم باستجابة هذه الجملة من خلال النمط الأول [7]. يوجد عدة صيغ للمعادلة المعبرة عن حركة الجملة ذات درجة حرية واحدة ولكن الافتراض الأكثر شيوعاً لمعظم هذه المقاربات هو أنه يمكن التعبير عن الشكل المشوه لجملة ذات درجات حرية متعددة (MDOF) من خلال

عامل الشكل ( $\Phi$ ) المميز للاستجابة المرنة واللامرنة للمنشأ، يعطى عامل الانتقال النسبي لجملة متعددة درجات الحرية (MDOF) بالعلاقة:  $X = \{\Phi\}x_1$  حيث ( $x_1$  انتقال أعلى مستوي في المبنى). يمكن أن تكتب معادلة الجملة متعددة درجات الحرية (MDOF) بالصيغة [7-8]:

$$M \{\Phi\} \ddot{X}_1 + C \{\Phi\} \dot{X}_1 + Q = - M\{1\} \ddot{X}_g \quad (1)$$

حيث إن  $M, C$  مصفوفتا الكتلة والتخامد،  $Q$  تعبر عن شعاع قوة الطابق ( Story Force )  $X_g$ : التسارع الأرضي . (Vector)

بافتراض أن عامل الشكل  $\{\Phi\}$  معلوم فإنه من الممكن تقدير خصائص القوة-التشوه لمعادلة بدرجة حرية واحدة وذلك من خلال نتائج التحليل الستاتيكي المتزايد اللاخطي لمنشأ متعدد درجات الحرية والذي يولد عادةً مخطط يربط القص القاعدي (V) و انتقال السطح ( $\delta$ ).

### 3- خطوات تنفيذ التحليل الستاتيكي اللاخطي (pushover):

لإجراء التحليل يدوياً يتم أولاً إنشاء الموديل الثنائي الأبعاد أو الثلاثي الأبعاد والذي يتضمن مخطط حمولة - تشوه الثنائي المحاور أو الثلاثي المحاور لجميع العناصر من الجملة الجانبية المقاومة ثم تطبق قوى الجاذبية بشكل أولي وهي الخطوات التي أصبحت تنفذ أوتوماتيكياً من خلال البرامج الحاسوبية الهندسية، كما يتم تعريف أنماط الحمولة الجانبية المتوزعة على ارتفاع المنشأ حيث إن الاختيار الجيد لأنماط التحميل المتنوعة يمكن أن يؤمن توقعاً ملائماً وكافياً للطلب الزلزالي لتشوهات العناصر وتتضمن أنماط الحمولة ما يلي [9]:

● حمولات الجاذبية Gravity Load : والحمولات الأخرى التي يمكن أن تطبق على المنشأ قبل تطبيق الحمولات الجانبية الزلزالية والتي تكون معرفة في البداية

● الحمولات الجانبية Lateral Load : والتي تستخدم لدفع المبنى

يتم تطبيق القوى الجانبية بشكل متزايد حتى تصل بعض العناصر إلى مرحلة الخضوع عندها يتم تعديل النموذج الإنشائي ليأخذ بالحسبان النقص الحاصل بالصلابة نتيجة تلدن العناصر ثم يحدث تزايد جديد للقوى الجانبية. تتابع هذه العملية حتى تصل نقطة التحكم بالانتقال في أعلى المبنى إلى الانتقال المستهدف أو يصبح المنشأ غير مستقر ويتم تشكيل علاقة بين انتقال السطح والقص القاعدي لنحصل على منحني الاستطاعة العام [10].

لإجراء تحليل PUSHOVER لابد من تحديد المفاصل اللدنة ليتم تخصيصها لعناصر المنشأ حيث تتقيد الاستجابة اللاخطية للمنشأ بنوع وموقع المفاصل اللاخطية التي يتم تخصيصها للعناصر الإنشائية للمنشأ.

بشكل عام يمكن تحديد المفاصل في أي موقع يتوقع فيه سلوك لاخطي حتى لو لم يحصل ذلك لاحقاً في العديد من هذه المواقع حيث إن الحصول على عدد زائد من المفاصل لا يبطل التحليل ويؤكد أن السلوك اللاخطي محقق.

ينفذ هذا التحليل وصولاً لانهيار، الأمر الذي يمكن من تحديد حمولة الانهيار واستطاعة المطاوعة للمنشأ،

حيث يظهر هذا التحليل ضعف التصميم الذي لا يظهر في التحليل المرن [8]، إذ يمكن أن تعدّ طريقة تحليل pushover اللامرنة طريقة لتوقع الاستجابة تحت تأثير القوى الزلزالية، كما تعدّ أسلوباً تقريبياً لإعادة توزيع القوى الداخلية الناتجة في المنشأ عند تعرضه للقوى الجانبية والتي لا يمكن مقاومتها لمدة طويلة ضمن المجال المرن للسلوك الإنشائي [8].

**4- متحولات (بارمترات) التحليل الستاتيكي اللاخطي:**

يعدّ التحليل الستاتيكي اللاخطي من أهم المميزات في برامج التحليل الانشائي الحديثة، حيث يمكن لتحليل ال PUSHOVER أن يتألف من عدة حالات تحليل وكل حالة يمكن أن تتضمن أي عدد من المحولات الشاقولية والجانبية المؤثرة على المنشأ.

إن إجراء تحليل pushover يتطلب تحديد مجموعة من المتحولات وفيما يلي أهمها:

**1- الانتقال الهدف (Target Displacement):**

هو الانتقال المميز للمنشأ والذي يستخدم لتقدير الانتقال العام له والمختبر عند مستوي أداء محدد كما يعرف على أنه انتقال السطح عند مركز كتلة المنشأ، أي أن فائدة الانتقال الهدف هي التأكد من الوصول إلى الانتقالات الأعظمية أثناء الحدث الزلزالي. أما الطريقة الأساسية لحساب الانتقال الهدف والتي نعتمدها في دراستنا فهي طريقة عوامل الانتقال التي تقدمها وكالة الطوارئ الفدرالية (FEMA356) Displacement coefficient method of (FEMA) وهي طريقة تقريبية تقدم إمكانية حساب الانتقال اللامرن الأعظمي للطلب الزلزالي مباشرة" مع دقة مقبولة وذلك من خلال تصحيح الانتقال المرن للمنشأ باستخدام عدد من المعاملات وتعطى العلاقة كما يلي [9]:

$$\delta = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (2)$$

**T<sub>e</sub>** : الدور الاساسي الفعال للمبنى في الاتجاه المدروس (sec) حيث  $T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}}$  حيث **T<sub>i</sub>** الدور

الاساسي المرن، **k<sub>i</sub>**: الصلابة الجانبية المرنة في الاتجاه المدروس، **k<sub>e</sub>**: الصلابة الجانبية الفعالة.

**C<sub>0</sub>** : معامل تصحيح طيف الاستجابة للجملة وحيدة درجة الحرية لتحويلها إلى جملة متعددة درجات الحرية

ويمكن تقدير قيمة العامل **C<sub>0</sub>** من خلال استخدام إحدى الطرق التالية:

- عامل مساهمة النمط الأول في مستوي عقدة التحكم (Control Node)، (عقدة التحكم هي عقدة من النموذج التحليلي للمبنى تمثل الكتلة ويراقب الانتقال عندها).

- عامل مساهمة النمط في مستوي عقدة التحكم المحسوب باستخدام عامل الشكل الموافق للشكل المتشوه للمبنى عند الانتقال الهدف.

- القيمة المناسبة من الجدول 1.

**C<sub>1</sub>** معامل تصحيح تقدير نسبة الانتقالات اللامرنة الأعظمية للجملة SDOF عند السلوك المرن اللدن بالنسبة

إلى الانتقال الأعظمي المحسوب بالاستجابة الخطية المرنة:

$$C_1 = 1 \text{ عندما } T_e \geq T_s$$

$$C_1 = \left[ 1 + (R - 1) \frac{T_s}{T_e} \right] / R \text{ من أجل } T_e < T_s$$

**T<sub>s</sub>** : الدور المميز لطيف الاستجابة والمعروف بالدور المرافق للتحويل من طيف جزء التسارع الثابت إلى طيف

جزء قطاع السرعة الثابتة.

**R**: نسبة طلب المقاومة المرنة إلى معامل مقاومة الخضوع المحسوب (علاقة 4).

**C<sub>2</sub>** : معامل تصحيح يمثل تغير الصلابة على الاستجابة الأعظمية تعطى قيمها حسب الجدول (2) ويسمح باستخدام **C<sub>2</sub>=1** في الإجراءات اللاخطية (أو من أجل المنشآت التي يزيد دور الاهتزاز فيها عن 0.7 sec حسب FEMA274).

**C<sub>3</sub>** : معامل تصحيح يمثل الانتقال المتزايد نتيجة التأثيرات الديناميكية ل  $\Delta - P$ . تؤخذ **C<sub>3</sub> = 1** من أجل المنشآت ذات الصلابة الإيجابية بعد الخضوع، أما من أجل المنشآت ذات الصلابة السلبية بعد الخضوع فيحسب

$$C_3 = 1 + \frac{\alpha(R-1)^{3/2}}{T_e} \quad (3) \quad \text{العامل } C_3 \text{ من العلاقة (3) :}$$

**S<sub>a</sub>** : تسارع طيف الاستجابة عن الدور الأساسي الفعال ونسبة التخامد للمبنى في الاتجاه المدروس وتحسب من طيف الاستجابة بالاعتماد على قيمة الدور. تحسب نسبة المقاومة R من العلاقة [9]:

$$R = \frac{S_a}{V_y/w} \cdot \frac{1}{C_m} \quad (4)$$

**V<sub>y</sub>** : مقاومة الخضوع المحسوب باستخدام نتائج التحليل الستاتيكي اللاخطي (NSP) حيث يتحدد منحنى القوة - الانتقال اللاخطي للمبنى من علاقة ثنائية الخطية (أي قوة القص القاعدي vs انتقال control node).  
**C<sub>m</sub>** : عامل الكتلة الفعال ويؤخذ من الجدول (3).

جدول (1) قيم معامل التصحيح **C<sub>0</sub>**

Number of Stories	Shear Buildings <sup>2</sup>		Other Buildings
	Triangular Load Pattern (1.1, 1.2, 1.3)	Uniform Load Pattern (2.1)	Any Load Pattern
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

1. Linear interpolation shall be used to calculate intermediate values.
2. Buildings in which, for all stories, interstory drift decreases with increasing height.

جدول (2) قيم معامل التصحيح **C<sub>2</sub>**

Structural Performance Level	$T \leq 0.1 \text{ second}^3$		$T \geq T_S \text{ second}^3$	
	Framing Type 1 <sup>1</sup>	Framing Type 2 <sup>2</sup>	Framing Type 1 <sup>1</sup>	Framing Type 2 <sup>2</sup>
Immediate Occupancy	1.0	1.0	1.0	1.0
Life Safety	1.3	1.0	1.1	1.0
Collapse Prevention	1.5	1.0	1.2	1.0

1. Structures in which more than 30% of the story shear at any level is resisted by any combination of the following components, elements, or frames: ordinary moment-resisting frames, concentrically-braced frames, frames with partially-restrained connections, tension-only braces, unreinforced masonry walls, shear-critical, piers, and spandrels of reinforced concrete or masonry.
2. All frames not assigned to Framing Type 1.
3. Linear interpolation shall be used for intermediate values of T.

جدول (3) قيم معامل التصحيح  $C_m$ 

No. of Stories	Concrete Moment Frame	Concrete Shear Wall	Concrete Pier-Spandrel	Steel Moment Frame	Steel Concentric Braced Frame	Steel Eccentric Braced Frame	Other
1-2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3 or more	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0

1.  $C_m$  shall be taken as 1.0 if the fundamental period,  $T$ , is greater than 1.0 second.

$W$ : الوزن الميت الكلي + الوزن الحي المتوقع.

إلا أن تحديد الانتقال الهدف يتطلب تحديد الدور الفعال للمبنى والذي يتحدد عند نقطة الأداء الأمر الذي قد لا يتحقق مباشرة لذلك يتم إما استخدام القيمة الافتراضية للبرنامج وهي  $0.04H$  (وهي أقصى إنقزال يمكن أن يتعرض له المبنى) أو يمكن استخدام الحدود المسموحة تبعاً لـ ATC40 والواردة في الجدول (9) لإجراء التحليل الأولي ثم يعاد التحليل بعد تحديد القيمة الفعلية للدور الفعال [6].

يمكن البدء بالتحليل ابتداءً من شروط ابتدائية صفرية أو اعتباراً من نهاية مرحلة تحليل PUSHOVER السابقة، ويتم استخدام هذا الخيار بشكل خاص من أجل حالة التحليل اللاخطي الجانبي ابتداءً من نهاية حالة التحميل اللاخطي الستاتيكي للحمولة الشاقولية (Gravity). يتوقف التحليل عند الوصول إلى قيمة الانتقال المستهدف ما لم يحدث الانهيار قبل الوصول إلى هذه القيمة.

2- التحكم بتطبيق الحمولة (Load Application Control): حيث يمكن الاختيار بين التحكم بالحمولة أو التحكم بالانتقال عند تنفيذ التحليل الستاتيكي اللاخطي.

❖ التحكم بالحمولة (Load Control): يتم اختيار التحكم بالحمولة وذلك عندما يعلم المستخدم شدة (مقدار) الحمولة التي ستطبق ويتوقع المستخدم أن يكون المنشأ قادراً على تحمل هذه الحمولة، كمثال على ذلك عند تطبيق الحملات الشاقولية.

❖ التحكم بالانتقال (Displacement Control): يختار المستخدم التحكم بالانتقال عندما يعلم مقدار الحركة المطلوبة للمنشأ ولكنه لا يعلم مقدار الحمولة (القوى) المطلوبة.

3- الخطوات المحفوظة الأصغر (The Minimum Saved Steps): يستخدم هذا الخيار لتقييد مقدار القفزة الأعظمية لتطبيق الحمولة في حالة التحميل اللاخطية، تعدّ القيمة بين 20-5 كافية في معظم الحالات، وفي حال توقع تشكل عدد كبير من المفاصل يمكن استخدام القيمة 1.

4- الخطوات الصفرية الأعظمية (The Maximum Null Steps): يستخدم هذا الخيار لإظهار الانهيار في المنشأ أثناء التحليل قبل الوصول إلى الحمولة المحددة أو الانتقال المستهدف، يأخذ البرنامج قيمة هذا الخيار افتراضياً من 50 وحتى 200.

5- الخطوات الكلية الأعظمية (The Maximum Total Steps): في حال عدم الوصول إلى الانتقال الهدف وفقاً للعدد المدخل من الخطوات يقوم المستخدم بإعادة التحليل مع زيادة عدد الخطوات، يتم حفظ الخطوات التي يحدث عندها تغير مهم في المنشأ.

6- تأثيرات P-delta: يمكن للمستخدم إدخال تأثيرات P-delta بالحسبان عند إجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي.

7- أنماط التحميل (Load Patterns): عادةً يتم ادخال عدة حالات تحميل لحالات pushover تتضمن بشكل أساسي الحمولات التالية:

- حمولات الجاذبية Gravity Load: والحمولات الأخرى التي يمكن أن تطبق على المنشأ قبل تطبيق الحمولات الجانبية الزلزالية والتي تكون معرفة في البداية.
- الحمولات الجانبية Lateral Load: والتي تستخدم لدفع المبنى.

8- المفاصل اللدنة (Plastic Hinge): المفاصل اللدنة الشائعة هي : مفاصل العزم- المفاصل المحورية- مفاصل القتل-مفاصل القص-مفصل p,M2,M3 لل قوى المحورية وعزوم الانعطاف. بشكل عام يمكن استخدام مفصل P,M2,M3 لأعمدة الإطارات ومفاصل القص عند نهايتي الجيزان بالإضافة لمفصل العزم في منتصف مجاز الجيزان. تقوم البرامج الهندسية ومنها برنامج ETABS المعتمد في دراستنا بتبني المتحولات السابقة.

### 5- تنفيذ تحليل PUSHOVER وفق برنامج ال ETABS

يتم اتباع الخطوات التالية في تنفيذ التحليل الستاتيكي اللاخطي باستخدام برنامج ال ETABS :

- 1- يتم إنشاء النموذج الحاسوبي الثلاثي الأبعاد للمبنى المدروس.
- 2- يتم إجراء تحليل خطي وتحليل طيف الاستجابة من أجل طيف الاستجابة الموافق للمبنى المدروس تبعاً للمنطقة الزلزالية ولخصائص التربة.
- 3- يتم معايرة نتائج التحليل الخطي وتحليل طيف الاستجابة.
- 4- يتم تصميم العناصر الإنشائية الرئيسية للمبنى المدروس بما يتوافقون نسب التسليح وفق الكود المعتمد.
- 5- تخصيص المفاصل اللدنة للعناصر الرئيسية حيث يتم تخصيص مفصل القص V2 عند نهايتي كل جائر ومفصل العزم M3 في منتصف الجائر ويتم تخصيص مفصل يحتوي قوة محورية وعزمي الانعطاف حول المحورين 2-3 أي مفصل P-M2-M3 للأعمدة.
- 6- يتم تحديد حالات تحليل PUSHOVER وهي :
  - أ. الحالة الأولى : الحمولة الميتة مع 25% من الحمولة الحية وتبدأ من الصفر.
  - ب. الحالة الثانية : الحمولات الجانبية المدروسة وتبدأ من الشروط التي انتهت بها الحالة السابقة.
- 7- المتحولات اللاخطية التي تحدد حسب حاجة (رغبة) المستخدم (الخطوات المحفوظة الأصغرية، الخطوات الصفرية الأعظمية، الخطوات الكلية الأعظمية).
- 8- يتم إجراء التحليل والحصول على منحنى ال PUSHOVER.

الوصف المعماري للمباني المدروسة وخواصها الهندسية:

المبنيان المدروسان هما :

- المبني A هو مبني بيتوني مسلح مؤلف من ثمانية طوابق وقبو على كامل مساحته، جملته الإنشائية إطارية مع نواة بيتونية مسلحة عند المصعد يقع في مدينة اللاذقية في سورية، صمم هذا المبني في العام 1987، يقع هذا المبني في المنطقة الزلزالية الثالثة حيث التسارع الأرضي 0.3g، ارتفاع المبني ابتداءً من سطح الأرض هو 27.1m ومن أسفل القبو 30.1 m، أبعاد المبني (25X9.10)m ارتفاع الطابق المتكرر هو 3.1m، وارتفاع القبو والطابقين الأخيرين 3m، وارتفاع الطابق الأول (الطابق النصاصي) هو 2.5m، المساحة الطابقية هي 213m<sup>2</sup> للطابق الأرضي و 180 m<sup>2</sup> للطابق المتكرر، المسقط الأفقي مستطيل، يوجد أظفار من جهة واحدة في جميع الطوابق

المنكررة، يحدث تراجع بالمنشأ عند الطابق الأرضي ثم يتابع المنشأ بشكل منتظم حتى الطابق الخامس ثم يحدث تراجع في الطابقين السادس والسابع، مساحة الأعمدة بالنسبة للمساحة الطابقية تتدرج من 0.023 حتى الطابق الأول إلى 0.012 حتى الطابق الرابع إلى 0.0074 حتى الرابع الثاني، بلاطة القبو مصممة وبلاطات بقية الطوابق هوردي،

تربة التأسيس صخر طري ونموذج المقطع الشاقولي لها (S<sub>C</sub>) حيث قدرة تحمل التربة  $\bar{\sigma}_s = 2.5 \text{ Kg / cm}^2$ .

- المبنى B هو مبنى بيتوني مسلح مؤلف من ثمانية طوابق وقبو على كامل مساحته، جملته الإنشائية مختلطة تتألف من جدران قص حاملة في الاتجاهين وجملة إطارات ويقع في مدينة اللاذقية في سورية. صمم هذا المبنى في العام 1993، يقع هذا المبنى في المنطقة الزلزالية الثالثة حيث التسارع الأرضي 0.3g ارتفاع المبنى ابتداءً من سطح الأرض هو 28.5m ومن أسفل هو 31.6 m، أبعاد المبنى (14.85x9.85)m الارتفاع المتكرر بين الطوابق هو 3.1m، وارتفاع القبو 2.95m، وارتفاع الطابق الأرضي هو 2.75m، المساحة الطابقية هي 150m<sup>2</sup> حتى الطابق الخامس و125 m<sup>2</sup> من الطابق السادس حتى الطابق الثامن، المسقط الأفقي مستطيل، يوجد أظفار من جميع الجهات حتى الطابق الخامس ثم تصبح من جهتين فقط من الطابق السادس حتى الثامن، مساحة الأعمدة بالنسبة للمساحة الطابقية بحدود 0.0052، بلاطة القبو مصممة بلاطات بقية الطوابق هوردي، تربة التأسيس صخر طري أي نموذج

المقطع الشاقولي لها (S<sub>D</sub>) و قدرة تحمل التربة  $\bar{\sigma}_s = 2 \text{ Kg / cm}^2$

ونستعرض في الجدولين (4)،(5) الخصائص الزلزالية والمقاطع الهندسية للمبنيين من المذكرة الحسابية.

جدول (4) الخصائص الزلزالية للمبنيين A,B

المبنى	Z	Ca	Cv	Ct	I	K	R
A	0.3	0.33	0.45	0.02	1	1.3	7.5
B	0.3	0.36	0.54	0.02	1	1.3	5.5

الجدول (5) مقاطع الأعمدة والجيزان للمبنيين A,B

الموقع	العمود	المبنى A		المبنى B	
		a(cm)	b(cm)	b(cm)	a(cm)
القبو	C1	30	60	120	30
	C2	30	80	60	دائري
الأرضي والأول	C1	25	55	120	30
	C2	25	80	60	دائري
الثاني	C1	20	55	100	25
	C2	20	80	50	دائري
الثالث	C1	20	50	100	25
	C2	20	70	50	دائري
الرابع	C1	20	40	100	25
	C2	20	60	50	دائري
الخامس	C1	20	40	80	25
	C2	20	50	40	دائري
السادس	C1	20	30	75	20
	C2	20	40	40	دائري
السابع	C1	20	30	70	20
	C2	20	40	40	دائري

المبنى B		المبنى A		اسم الجائز
h(cm)	b(cm)	h(cm)	b(cm)	
25	100	40	20	B1
25	100	40	20	B2
25	100	50	25	B3
25	80	40	20	B4
25	100	50	20	B5
25	80	50	20	B6
25	40	20	25	B7
25	40	50	25	B8
25	40	30	25	B9
25	40	50	25	B10
25	60	60	20	B12
25	60	30	20	B13
25	60	40	20	B14

### التحليل الإنشائي للوضع الراهن للمباني المدروسة

1- يتم نمذجة المبنيين المدروسين وتحليلهما وتقييمهما كنماذج ثلاثية الأبعاد للعناصر والمركبات باستخدام برنامج التحليل الإنشائي ETABS مع أخذ القتل الطارئ بالحسبان [9-10].

2- نمذجة الجمل الإنشائية:

1-2 نمذجة العناصر الإنشائية: تم اعتماد المقاربات التالية في النمذجة :

-تم نمذجة العناصر الإطارية (أعمدة-جيزان) كعناصر خطية.

-تم نمذجة جدران القص باستخدام مجموعة من العناصر الإطارية وذلك لتمثيل صلابة جدار القص كما يستخدم عنصر أفقي (ذراع صلب) يسمح باتصال مناسب مع الجوائز، حيث يمثل جدار القص بعنصر عمود ذي عرض مكافئ متوضع عند خط مركز الجدار [7-11].

إن النقطة الأكثر أهمية لهذا النموذج هي الاختيار المناسب لخصائص صلابة العنصر الأفقي. يمكن ان تزيد الصلابة اللامتناهية للإطار العلوي وبشكل كبير عزوم الانعطاف خاصة عند الاتصال مع الجائز. يستخدم هذا النموذج بشكل واسع التطبيق لنمذجة جدران القص المستوية في منشآت الأبنية من أجل التحليل الخطي واللاخطي. يمكن أن يعطي هذا النموذج نتائج غير حقيقية من أجل جدران القص الطويلة أو المعقدة والتي لها تقاطعات مع فتحات [11].

## 2-2 نمذجة خواص المواد:

تتم نمذجة خواص المواد تبعاً للقيم الفعلية بثلاث قيم هي المقاومة الفعلية للبيتون على الضغط ( $f_c$ ) ومقاومة الفولاذ ( $f_y$ ) وعامل المطاوعة ( $R$ )، هناك طرق معروفة لتحديد مواد الإنشاء ويمكن أخذ قيم افتراضية عند عدم توفر أية معلومات [10]. في هذه الدراسة كانت القيم المميزة للمقاومات التصميمية وعامل المطاوعة كما يلي:

$$f_c=200\text{kg / cm}^2, f_y=3600\text{kg / cm}^2, R_A=7.5, R_B=5.5$$

أما القيم الفعلية المعتمدة في دراستنا للوضع الراهن فهي:  $f_c=150\text{kg / cm}^2, f_y=3600\text{kg / cm}^2$   
 $R_A, R_B=5.5$

## 3-2 القساوة الأولية للعناصر:

يتم افتراض أن المقاطع متشققة حيث يؤخذ عزم العطالة على الانعطاف وعلى القص في الجوائز 0.6 من العطالة الكلية، أما في الأعمدة فتؤخذ عزم العطالة على القص 0.6 من العطالة الكلية، وعلى الانعطاف 0.8 من العطالة الكلية حسب الكود العربي السوري.

## 4-2 الحملات : يخضع المنشأ إلى نوعين من الحملات هي:

أولاً- حمولة الجاذبية (Gravity Load): تتضمن الحملات الميتة المعتمدة في الدراسة الوزن الذاتي لجيزان، الأعمدة، الجدران، البلاطات، والمركبات الرئيسية الأخرى والتي يتم حسابها ضمناً من قبل البرنامج والحملات الإضافية التي تلخص في الجدول (6).

جدول (6) قيم الحملات الإضافية وفق الكود العربي السوري

نوع الحمولة	قيمة الحمولة ( $\text{kg/m}^2$ )
حمولة ميتة (حمولة التغطية + القواطع)	400
حمولة حية في الغرف	200
حمولة حية في الشرفات	400

ثانياً- الحمولة الجانبية (Lateral Load): تم تعريف قوتين زلزليتين  $Q_x$  ,  $Q_y$  حيث تم تحديدها باستخدام كود UBC 97 والكود العربي السوري (ملحق الزلازل) أتوماتيكياً في البرنامج.

## 5-2 تحديد متحولات تحليل PUSHOVER:

● أنماط الحمولة المستخدمة: تم تخصيص ثلاث أنماط للحمولة :

-1 الحمولة الميتة (DL pattern) يضاف إليها 25% من الحمولة الحية وفق FEMA 274.

-2 Push x : الحمولة الجانبية باتجاه x ( $Q_x$ ).

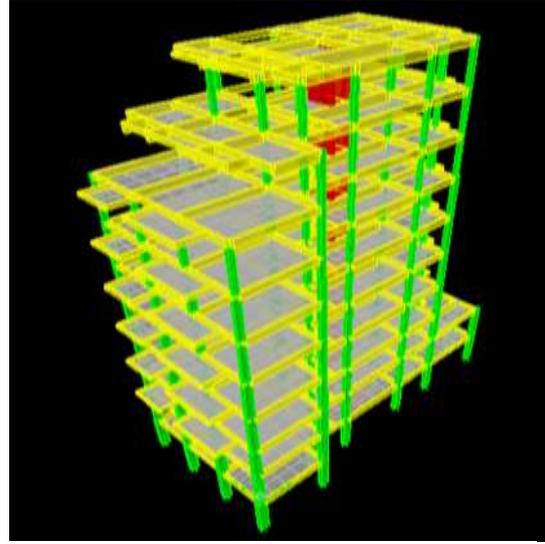
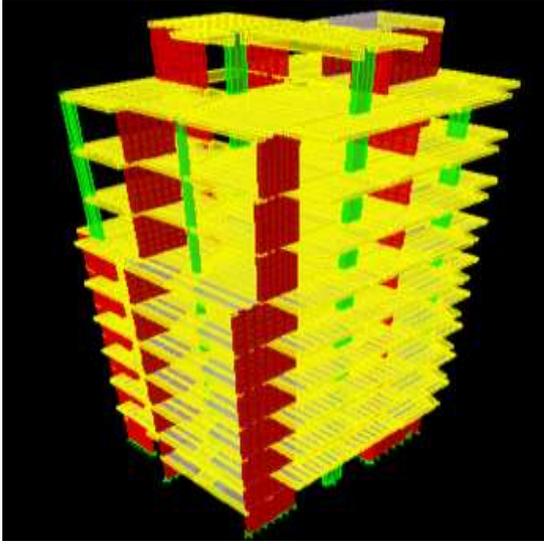
-3 Push Y : الحمولة الجانبية باتجاه Y ( $Q_y$ ).

● تحديد قيمة الانتقال الهدف: تم حساب قيمة الانتقال الهدف وفقاً للجدول (9) عند مستوى الأداء LS

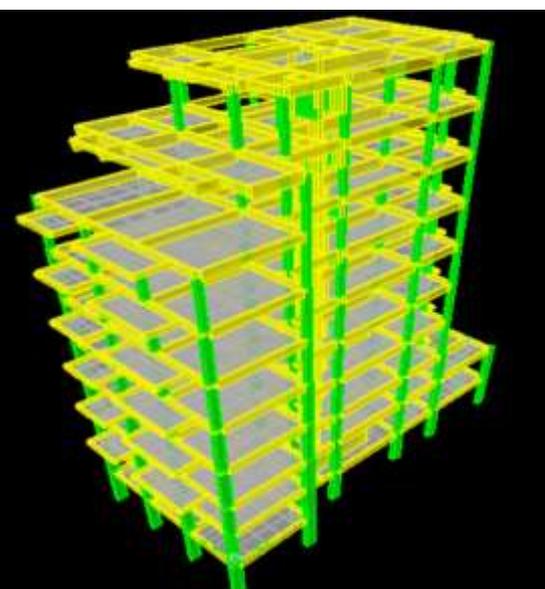
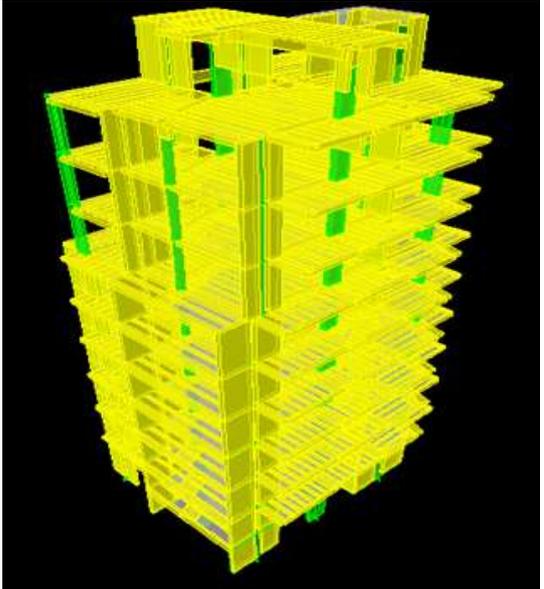
من القيمة  $0.02H$ . فتكون قيم الانتقال الهدف كما يلي:  $\delta_A=0.02 \times 27.1=0.54\text{m}$  ,

$$\delta_B=0.02 \times 31.6=0.63\text{m}$$

- تعيين خواص المفاصل اللدنة للعناصر:
  - في كلا المبنيين تم تخصيص مفاصل قص (V) في بداية ونهاية كل جائر ومفصل عزم انعطاف صافٍ ( $M_3$ ) في منتصف الجائر وتم تخصيص ( $P-M_2-M_3$ ) في بدايات ونهايات كل الأعمدة.
- 3- إجراء التحليل والتقييم :
- تم تنفيذ التحليل الستاتيكي وإجراء التحليل الستاتيكي اللاخطي (PUSHOVER) ومن ثم تقييم النتائج. حتى يتم تقرير أن بناء ما يحقق أهداف أداء محددة يتم مقارنة متحولات الاستجابة الناتجة عن التحليل الستاتيكي اللاخطي مع من الحدود المقبولة للبناء أو لمكونات العناصر عندها يجب عدّ البناء غير محقق لأهداف الأداء [8].



الشكل (4) يظهر النموذج التحليلي للمبنى A حيث جدران النواة البيتونية منمذجة كعناصر سطحية



الشكل (5) يظهر النموذج التحليلي للمبنى B حيث جدران القص منمذجة كعناصر سطحية

الشكل (6) يظهر النموذج التحليلي للمبنى A حيث جدران النواة البيتونية منمذجة كعناصر إطارية مكافئة

الشكل (7) يظهر النموذج التحليلي للمبنى B حيث جدران القص منمذجة كعناصر إطارية مكافئة

- وفيما يلي حدود الاستجابة الإنشائية والتي تم اعتمادها في دراستنا وهي:
- 1- السلوك الإنشائي العام من خلال التحقق من الانتقال (deflection) تحت تأثير الحملات الشاقولية (الوزن الذاتي) للتأكد من سلامة النموذج الإنشائي.
  - 2- قيم الانتقالات ونسب الإزاحة الطابقية (inter-story drift ratio - Displacement) ومطابقتها مع القيم الواردة في الكود.
  - 3- قدرة التحمل للمقاطع الإنشائية وذلك من حيث تحقيقها لمخطط الترابط وفق برنامج ETABS.
  - 4- التحقق من المفاصل اللدنة وأماكن تشكلها (plastic hinge locations) لمعرفة نقاط الضعف والنقاط التي تتلدن أولاً والتي يمكن أن يكون غير مرغوب بتلدها.
  - 5- مقارنة منحنى الاستطاعة الناتج عن تحليل pushover مع منحنى الطلب الزلزالي.

### النتائج والمناقشة:

أولاً: التأكد من سلامة النمذجة:  
تم التأكد من مدى دقة النموذج الإنشائي ومقارنة النتائج في حالة نمذجة جدران القص كعناصر سطحية (الشكل (4-5)) مع النتائج الحاصلة عند نمذجة جدران القص كعناصر إطارية مكافئة (الشكل (7-6)) حيث أظهرت المقارنة بين نتائج النموذجين التحليليين كما يوضح الجدول (7).

جدول (7) يوضح مقارنة بين نتائج التحليل لكلا المبنى عند نمذجة جدران القص كعناصر سطحية وكعناصر إطارية مكافئة

المبنى B		المبنى A		
جدران القص نمذجة كعناصر إطارية مكافئة	جدران القص نمذجة كعناصر قشرية	النواة البيتونية نمذجة كعناصر إطارية مكافئة	النواة البيتونية نمذجة كعناصر قشرية (سطحية)	
1.254	1.191	1.469	1.476	الدور (sec)
2560659.19	2528292.19	1660225	1660223	الوزن الإجمالي (Kg.f)
278672.38	276010.07	117727.31	117609.64	قوة القص القاعدي بالإتجاه X (Kg.f)
277909.19	275616.48	119627.92	119458.25	قوة القص القاعدي بالإتجاه Y (Kg.f)

ثانياً: دور الاهتزاز (Period)

تم تحديد عدد أنماط التحليل ب 16 نمطاً حيث تزيد مساهمة الكتلة في الاهتزاز وفق عدد الأنماط المدروس عن 90% من كتلة المبنى المهتزة كما يظهر الجدول (8).

جدول (8) يوضح قيم دور الاهتزاز ومساهمات الكتلة من أجل جميع أنماط الاهتزاز لكلا المبنيين من أجل الجمل الإطارية المكافئة

المبنى B			المبنى A			Mode
Sum UY	Sum UX	Period	Sum UY	Sum UX	Period	
2.3	2.3	1.254	58	0	1.469	1
المبنى B			المبنى A			Mode
Sum UY	Sum UX	Period	Sum UY	Sum UX	Period	
2.5	65.5	1.118	63	1	1.156	2
63	65	0.998	63	63	0.879	3
65	66.3	0.385	68	63	0.490	4
65	81	0.285	79	63	0.387	5
80	81.5	0.267	79	77	0.310	6
80	81.5	0.184	79	77	0.293	7
81	88	0.129	81	77	0.226	8
87.5	88.5	0.124	86	77	0.188	9
87.5	89	0.094	86	84	0.172	10
91	89	0.073	87	84	0.134	11
91	94	0.0608	87	87	0.118	12
93	96.5	0.0542	87	87	0.079	13
93	97	0.047	87	87	0.073	14
93.5	97	0.037	93	87	0.060	15
98	97.5	0.031	93	95	0.048	16

#### ثالثاً: الانتقال الطابقي والانتقال الطابقي النسبي

يرتبط الضرر الإنشائي مباشرةً بنسبة الإزاحة الطابقية. إن التقدير الدقيق لنسبة الإزاحة الطابقية وتوزعها على كامل ارتفاع المبنى حساس جداً من أجل هدف تقييم الأداء الزلزالي، و تبعاً للجدول (9) فإن قيمة الانتقال الطابقي المسموح عند مستوى الأداء Life Safety هو (No limit) بينما قيمة الانتقال الطابقي الأعظمي للمبنى A تبعاً لحالة التحميل PUSHX هي 0.00249 ولحالة التحميل PUSHY هي 0.002718، وللمبنى B بالنسبة لحالة التحميل PUSHX هي 0.00201 ولحالة التحميل PUSHY هي 0.000705 ونلاحظ من أجل الحالات الأربعة فإن المبنيين لم يتجاوزا قيمة الانتقال الطابقي المسموحة. أما بالنسبة للانتقال الكلي فنلاحظ أن أقصى إنتقال للمبنى A هو 6.5cm وللمبنى B هو 5.1cm أي أن كلا المبنيين تشكلت فيهما مفاصل إنهيار قبل الوصول إلى قيمة الانتقال الهدف كما تظهر الأشكال (8-9-10-11).

STORY	DISP-X	DISP-Y	DRIFT-X	DRIFT-Y
STORY10	0.121772	6.520234	0.000051	0.002066
STORY9	0.140165	5.900344	0.000029	0.002285
STORY8	0.148559	5.214985	0.000109	0.002373
STORY7	0.182101	4.479218	0.000017	0.002560
STORY6	0.187303	3.685604	0.000071	0.002708
STORY5	0.165332	2.845987	0.000091	0.002718
STORY4	0.137276	2.003279	0.000093	0.002618
STORY3	0.108335	1.191771	0.000056	0.002293
STORY2	0.094459	0.618502	0.000302	0.001941
STORY1	0.000731	0.016739	0.000002	0.000056

STORY	DISP-X	DISP-Y	DRIFT-X	DRIFT-Y
STORY10	5.925928	-0.417131	0.001908	0.000330
STORY9	5.353621	-0.317996	0.002278	0.000292
STORY8	4.670224	-0.230359	0.002495	0.000243
STORY7	3.896891	-0.155031	0.002425	0.000185
STORY6	3.145027	-0.097824	0.002480	0.000146
STORY5	2.376363	-0.052417	0.002327	0.000090
STORY4	1.654946	-0.024608	0.002190	0.000035
STORY3	0.976103	-0.013715	0.001823	0.000026
STORY2	0.520333	-0.020251	0.001538	0.000051
STORY1	0.043648	-0.004344	0.000000	0.000000

الشكل (9) قيم الانتقال الكلي والانتقال الطابقي الأعظمي للمبنى A, pushy

الشكل (8) قيم الانتقال الكلي والانتقال الطابقي النسبي للمبنى A, pushx

STORY	DISP-X	DISP-Y	DRIFT-X	DRIFT-Y
ROOF	1.134718	1.667249	0.000431	0.000387
STORY8	1.001209	1.547171	0.000404	0.000460
STORY7	0.851126	1.404606	0.000493	0.000540
STORY6	0.698442	1.237248	0.000409	0.000631
STORY5	0.546982	1.041496	0.000462	0.000673
STORY4	0.403869	0.833017	0.000412	0.000705
STORY3	0.276177	0.614432	0.000352	0.000688
STORY2	0.166925	0.401291	0.000280	0.000609
STORY1	0.080236	0.212395	0.000189	0.000457
COLUMN FLOOR	0.021600	0.070863	0.000081	0.000239
BASEMENT	-0.000657	0.005236	0.000000	0.000000

الشكل (11) قيم الانتقال الكلي والانتقال الطابقي النسبي

STORY	DISP-X	DISP-Y	DRIFT-X	DRIFT-Y
ROOF	5.162848	-0.776200	0.001771	0.000304
STORY8	4.613845	-0.682101	0.001852	0.000335
STORY7	4.039693	-0.578153	0.001949	0.000334
STORY6	3.435538	-0.474598	0.002016	0.000324
STORY5	2.810674	-0.374243	0.001982	0.000310
STORY4	2.196223	-0.278198	0.001905	0.000272
STORY3	1.605626	-0.193746	0.001755	0.000234
STORY2	1.061668	-0.121140	0.001509	0.000189
STORY1	0.593930	-0.062481	0.001146	0.000134
COLUMN FLOOR	0.238610	-0.020816	0.000687	0.000065
BASEMENT	0.049612	-0.003024	0.000000	0.000000

الشكل (10) قيم الانتقال الكلي والانتقال الطابقي النسبي

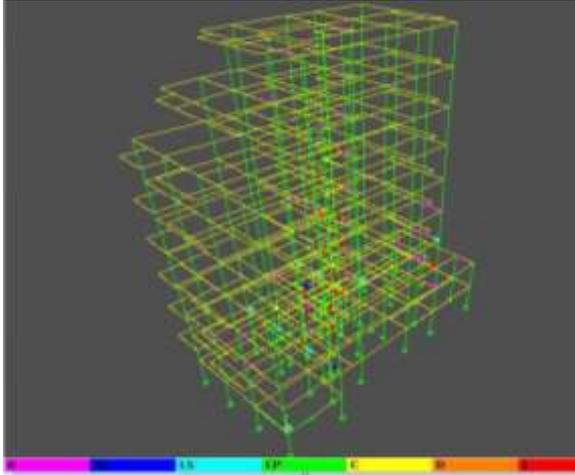
للمبنى B, pushx

جدول (9) قيم الإنتقال الطابقي والإنتقال الطابقي النسبي المقبولة وفق كود ATC40

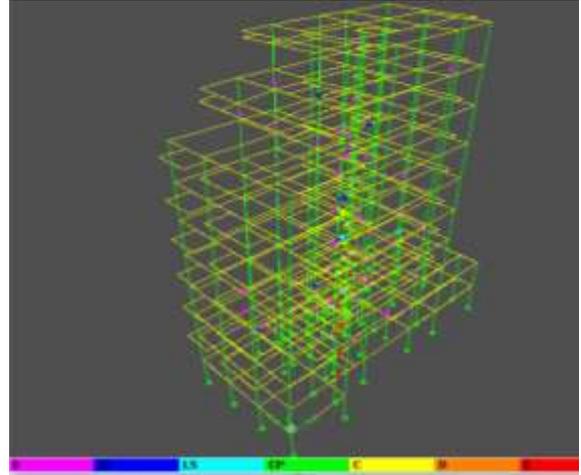
Interstory Drift Limit	Performance Level			
	Immediate Occupancy (IO)	Damage Control	Life Safety (LS)	Structural Stability
Total Drift	0.010	0.010 - 0.020	0.020	$0.33 \frac{V_L}{P_L}$
Inelastic Drift	0.005	0.005 - 0.015	No Limit	No Limit

رابعا: تشكل المفاصل اللدنة

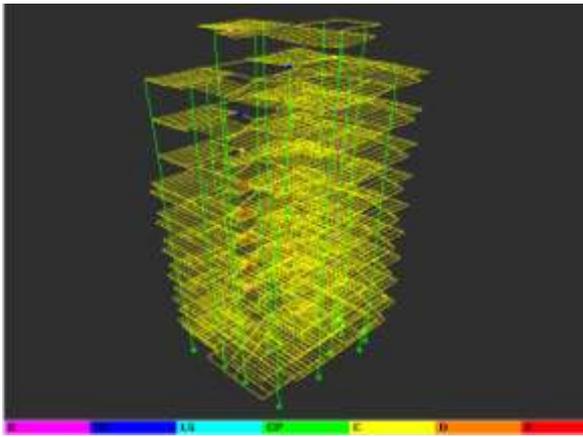
تم تحديد مواقع نقاط الضعف التي يمكن أن تحدث أثناء الحدث الزلزالي المدروس من أجل المبنى المدروسين A,B. يلاحظ من أجل المبنى A أن تشكل المفاصل اللدنة في المنشأ وفق حالة تحميل PUSH X كان مركزا بشكل عام في الطوابق السفلية وخاصة في الجيزان حيث إن معظم المفاصل التي تشكلت في الطوابق العلوية والأعمدة لم تتجاوز مستوى الأداء المدروس Life Safety, أما المفاصل المتشكلة في الجيزان فقد تجاوزت مستوى الأداء Life Safety.



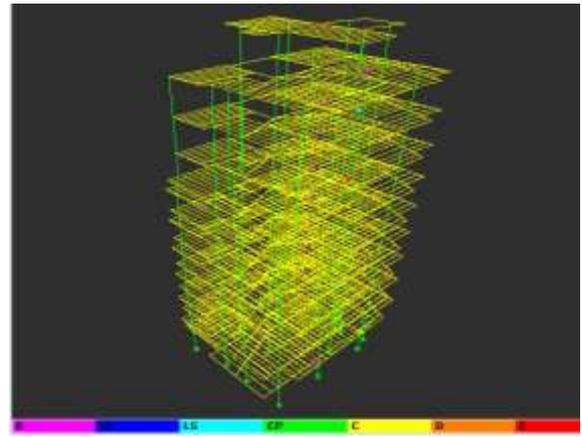
الشكل(13) توزيع المفاصل اللدنة في المبنى A تحت تأثير حالة التحميل PUSH Y



الشكل(12) توزيع المفاصل اللدنة في المبنى A تحت تأثير حالة التحميل PUSH X



الشكل(15) توزيع المفاصل اللدنة في المبنى B تحت تأثير التحميل PUSH Y



الشكل(14) توزيع المفاصل اللدنة في المبنى B تحت تأثير التحميل PUSH X

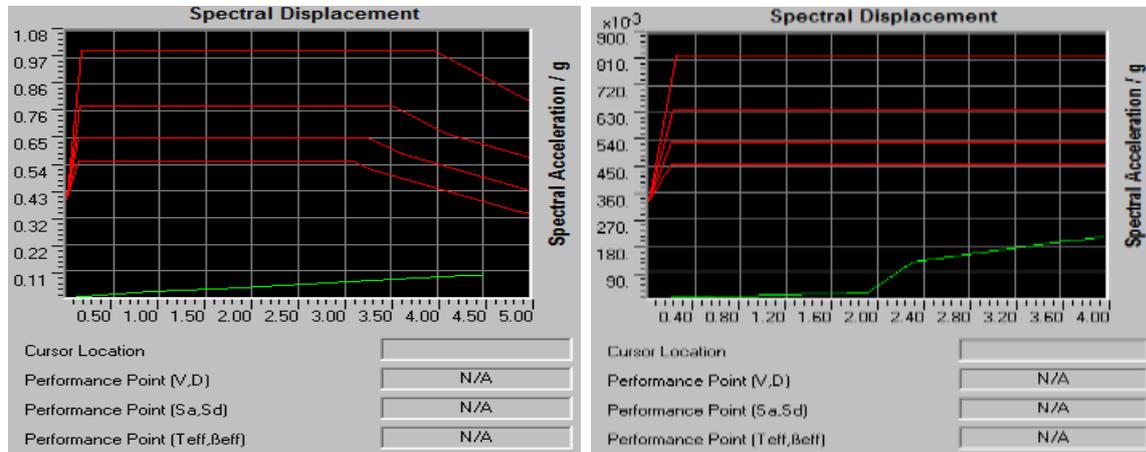
أما بالنسبة لحالة التحميل PUSH Y فنلاحظ أن عدد مفاصل اللدنة المتشكلة أكبر من العدد الناتج عن حالة التحميل PUSH X كما أن توزيع هذه المفاصل في هذه الحالة يتركز في الطوابق السفلية من المبنى مع تشكل عدد قليل جداً من المفاصل في الطوابق الأخيرة (الشكل(12-13)).

أما بالنسبة للمبنى B فلقد تشكلت معظم المفاصل اللدنة في المنشأ وفق حالة تحميل PUSH X في الجيزان حيث إن نصف هذه المفاصل قد تجاوز مستوى الأداء المدروس وهو life safety إذ تركزت معظم المفاصل عند مستوى الانهيار (E) فلم يلاحظ تدرج في مستويات الأداء أما بالنسبة لحالة التحميل push Y فقد لوحظ وبشكل مشابه أن معظم المفاصل تشكلت في الجيزان لكن مستويات الأداء تدرجت وصولاً للانهيار.

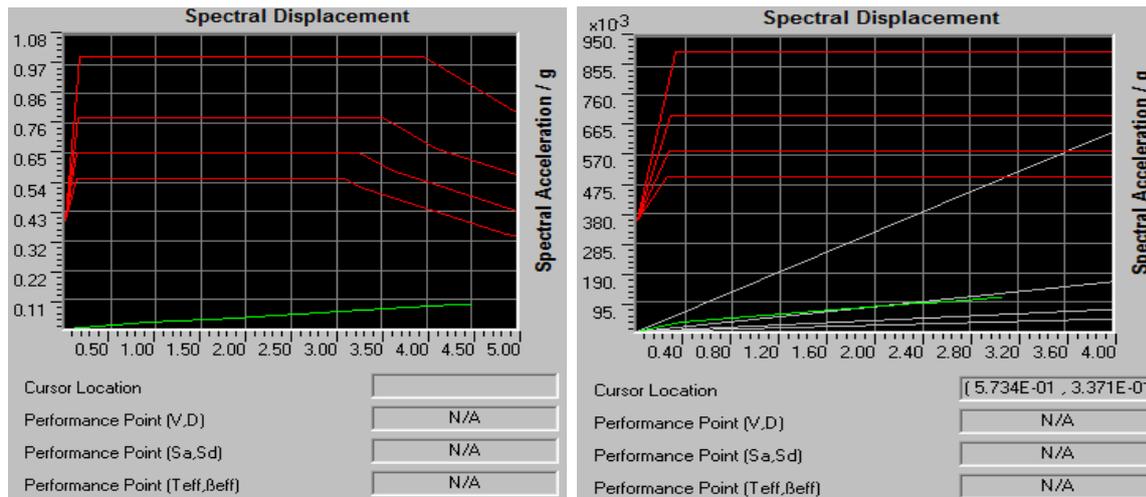
نلاحظ في كلا المبنيين ونتيجة تشكل المفاصل اللدنة بأغلبيتها في الجيزان أن نظرية العمود القوي والجائز الضعيف محققة.

خامساً: مقارنة منحنى الاستطاعة مع منحنى الطلب الزلزالي

نلاحظ من مقارنة منحنى الطلب الزلزالي والاستطاعة من أجل حالتى التحميل بالاتجاهين PUSH X, PUSH Y (الشكل (16)) للمبنى A أن منحنى الطلب الزلزالي يفوق منحنى استطاعة المنشأ من أجل التخامد المعتمد والمنشأ المدروس غير قادر على تحمل الحركة الزلزالية المدروسة عند مستوى الأداء المعتبر. ومن مقارنة منحنى الطلب



الشكل (16) منحنى الاستطاعة ومنحنى الطلب الزلزالي بتأثير حالتى التحميل PUSH X-push Y للمبنى A



الشكل (17) منحنى الاستطاعة ومنحنى الطلب الزلزالي بتأثير حالتى التحميل PUSH X-push Y للمبنى B

الزلزالي والاستطاعة من أجل حالتى التحميل بالاتجاهين PUSH X, PUSH Y (الشكل (17)) للمبنى B نلاحظ أن منحنى الطلب الزلزالي يفوق منحنى استطاعة المنشأ والمنشأ المدروس غير قادر على تحمل الحركة الزلزالية المدروسة عند مستوى الأداء المعتبر.

يظهر جلياً أن منحنى الاستطاعة والطلب لكلا النموذجين لم يتقاطعا وبالتالي لم نحصل على نقطة أداء.

## الاستنتاجات والتوصيات:

- من خلال التحليل الستاتيكي اللاخطي للنموذجين المدروسين وفق برنامج ETABS وبمقارنة قيم متحولات الاستجابة الخمس مع القيم المسموحة وفق الكودات العالمية نستنتج الآتي:
- 1- يعدّ تحليل pushover أداة جيدة في دراسة سلوك المنشآت المعرضة للزلازل بالاعتماد على الأداء.
  - 2- تعطي نتائج الطلب الزلزالي، الاستطاعة، والمفاصل اللدنة نظرة معمقة لفهم السلوك الحقيقي للمبنى.
  - 3- لوحظ أن القيمة الافتراضية للانتقال الهدف  $0.04*Z$  التي يعطيها البرنامج هي القيمة الأعظمية، ويجب تدقيقها من أجل الأبنية المدروسة المختلفة.
  - 4- لوحظ أن القيم التصميمية لتسليح العناصر الإنشائية على الزلازل في الدراسة الفعلية هي أقل من القيم الحدية الموافقة للكود المعتمد وهي تشكل نقطة ضعف في هذا النوع من المباني ضمن الفترة الزمنية للإنشاء.
  - 5- أظهرت المقارنة بين نتائج النماذج التحليلية لكلا المبنيين أن نمذجة جدران القص كعناصر إطارية مكافئة تعطي نتائج مقبولة جداً بالمقارنة مع نمذجة جدران القص كعناصر سطحية (الجدول 7).
  - 6- نتيجة التقييم تبين أن المبنيين المدروسين لا يستطيعان مقاومة القوى الزلزالية (عدم تقاطع منحنى الطلب والاستطاعة- تشكل مفاصل الانهيار- انهيار كثير من العناصر.....)، وبالتالي يجب إعادة التأهيل واقتراح الحلول التدعيمية المناسبة.
  - 7- يظهر توزع المفاصل اللدنة في جيزان وأعمدة المبنى ذي الجملة الإطارية أن معظم هذه المفاصل تتشكل في الجيزان مع بعض المفاصل في الأعمدة ولكن مع أضرار متدرجة ضمن مستويات الأداء وهو الأداء المفضل في الأبنية والذي يتوافق مع نظرية العمود القوي والجائر الضعيف.
  - 8- إن توزع المفاصل اللدنة في جيزان وأعمدة المبنى ذي الجملة المختلطة يظهر أنها أكبر في الجيزان ولكن تتراوح مستويات الأداء للمفاصل بين life safety والانهيار (E).

## المراجع:

- 1- MILANI,A.S; MODIRZADEH,M; TEFAMARIAM,S.*Performance Based Earthquake Evaluation Of Reinforced Concrete Buildings Using Design Of Experiments*.January.2012<<HTTP://WWW.ELSEVIER.COM/LOCATE/SEWA>>
- 2- ALTARI,N.K; RASEKH,A; ROFOOEI,F.R; SGODJA,A.H.*Adaptive Pushover Analysis*. Asian Journal Of Civil Engineering.Vol.8. N<sup>o</sup>.3, 2007, 343-358.
- 3- RANA, R; JIN, L; ZEKIOGLU, A.*Pushover Analysis of a 19 Story Concrete Shear wall Building*. 13<sup>th</sup> World Conference Earthquake Engineering.CANDA, August, 2004, 133-136.
- 4- *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building ATC40*. Applied Technology Council California. Vol.1, 1996.
- 5- CHAIRF, A; SHURAIM, A.*Performance of Pushover Procedure in Evaluating the Seismic Adequacy of Reinforced Concrete Frames*.Research in the University of King Saud. SAUDI ARABIA. 2008.
- 6- SOYDAS,O.*Evaluation Of Shear Wall Indexes For Reinforced Concrete Buildings*. Master Thesis In Middle East Technical University. TURKEY. 2009.

7-FAHJAN, Y. M; KUBIN, J;TAN,M. T.*Comparison of Practical Approaches for Modeling Shear walls In Structural Analysis of Buildings*. THE 14<sup>TH</sup> World Conference on Earthquake Engineering. CHINA. 2008.

8- KRAWINKLER,H;SENEVIRATNA.G.D.K.*Pros and Cons of Pushover Analysis Of Seismic Performance Evaluation*. Engineering Structures Magazine.N<sup>o</sup>.20, 1998, 452-464.

9- *NEHRP Guidelines for The Seismic Rehabilitation Of Building FEMA 273*. Federal Emergency Management Agency. 1997.

10-OGUZ, S.*Evaluation Of Pushover Analysis Procedures For Frame Structures*, Master Thesis In Middle East Technical University. TURKEY. 2005.

11- NASSERI, A.*Seismic Response Reconstruction and Evaluation of Nonlinear Static Analysis Procedures Using Data from Instrumented Buildings*. PHD Dissertation in Northeastern University. England. 2010.